

**Avaliação de Genótipos de Sorgo Sacarino
(*Sorghum bicolor* L. Moench) em Planaltina,
Distrito Federal, Safra 2015/2016**



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
370**

**Avaliação de Genótipos de Sorgo Sacarino
(*Sorghum bicolor* L. Moench) em Planaltina,
Distrito Federal, Safra 2015/2016**

*José de Ribamar Nazareno dos Anjos
Juaci Vitória Malaquias
Rafael Augusto da Costa Parrella*

***Embrapa Cerrados
Planaltina, DF
2020***

Esta publicação encontra-se disponível gratuitamente
no link: <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/?initQuery=t>
(Digite o título e clique em "Pesquisar")

Embrapa Cerrados
BR 020, Km 18, Rod. Brasília / Fortaleza
Caixa Postal 08223
CEP 73310-970, Planaltina, DF
Fone: (61) 3388-9898
Fax: (61) 3388-9879
embrapa.br/cerrados
embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da Unidade

Presidente
Lineu Neiva Rodrigues

Secretária-executiva
Marina de Fátima Vilela

Secretária
Alessandra S. Gelape Faleiro

Membros
Alessandra S. G. Faleiro; Cícero Donizete Pereira; Gustavo José Braga; João de Deus G. dos Santos Júnior; Jussara Flores de Oliveira Arbues; Shirley da Luz Soares Araújo

Supervisão editorial
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Revisão de texto
Jussara Flores de Oliveira Arbues

Revisão de abstract
Margit Bergener L. Guimarães

Normalização bibliográfica
Shirley da Luz Soares Araújo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e tratamento de imagens
Wellington Cavalcanti

Foto da capa
José de Ribamar N. dos Anjos

Impressão e acabamento
Alexandre Moreira Veloso

1ª edição

1ª impressão (2020): tiragem 30 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Cerrados

A599 Anjos, José de Ribamar Nazareno dos.

Avaliação de Genótipos de Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) em Planaltina, Distrito Federal, Safra 2015/2016 / José de Ribamar Nazareno dos Anjos, Juaci Vitória Malaquias, Rafael Augusto da Costa Parrella. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2020.

22 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X, ISSN online 2176-509X; 370).

1. Etanol. 2. Biomassa. 3. Rendimento de colmo. I. Malaquias, Juaci Vitória. II. Parrella, Rafael Augusto da Costa. III. Título. IV. Série.

633.174 – CDD-21

Sumário

Resumo5

Abstract6

Introdução.....7

Material e Métodos8

Resultados e Discussão10

Conclusão.....15

Agradecimentos.....15

Referências16

Avaliação de Genótipos de Sorgo Sacarino (*Sorghum bicolor* L. Moench) em Planaltina, Distrito Federal, Safra 2015/2016

José de Ribamar Nazareno dos Anjos¹; Juaci Vitória Malaquias²;
Rafael Augusto da Costa Parrella³

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptação geográfica e climática, e o potencial de produção de biomassa, açúcares e etanol de 25 genótipos de sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] nas condições edafoclimáticas do Distrito Federal. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF, na safra 2015/2016, semeado em 18/11/2015, em solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico argiloso, com delineamento experimental em látice triplo (5 x 5). Foram avaliados os parâmetros florescimento, altura das plantas, peso de massa verde (PMV), rendimento de colmo (RCOLMO), extração de caldo (EXT), sólidos solúveis totais (SST), porcentagem aparente de sacarose (POL), pureza (PUR), fibra (FIB), AR (açúcares redutores), ART (açúcares redutores totais), ATR (açúcares totais recuperáveis), rendimento de etanol hidratado (EH, L de etanol t⁻¹ de colmo) e produção de etanol hidratado (ETH, L ha⁻¹). A verificação estatística da significância dos tratamentos foi baseada em análise de variância (ANOVA). Para a comparação das médias, foi utilizado o teste de Scott-Knott, no nível de probabilidade de 5%. Observou-se diferença significativa ($P < 0,05$) entre os genótipos para as características avaliadas, exceto EXT, PUR e AR. Para EH, os genótipos 201543B012, BRS 508, 201543B019, CMSXS646, 201543B007, 201543B020, 201543B010, BRS 511, 201543B014, 201543B006, 201543B011 e 201543B015, com rendimento acima de 59 L de etanol t⁻¹ de colmo, não diferiram significativamente entre si, e superaram os demais. Para a característica ETH, as médias variaram de 4.207,45 L ha⁻¹ a 2.306,65 L ha⁻¹, correspondentes respectivamente a 201543B007 e 201543B013. Os genótipos 201543B007, 201543B012, 201543B019, 201543B011, 201543B020, 201543B002, CMSXS646, 201543B006, 201543B008 e 201543B015, que não diferiram significativamente entre si, produziram acima de 3.200 L de etanol ha⁻¹, destacando-se, portanto, como fontes potenciais de matéria-prima para produção de bioetanol.

Termos para indexação: rendimento de etanol, rendimento de colmo, características tecnológicas do sorgo.

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

² Estatístico, mestre em Ciências de Materiais em Modelagem e Simulação Computacional, analista da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG.

Evaluation of sorghum cultivars (*Sorghum bicolor* L. Moench) in Planaltina, Distrito Federal, Brazil, Season 2015/2016

Abstract – With the objective of identifying sweet sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] genotypes that produce high biomass and are suited for ethanol production, twenty five sweet sorghum genotypes were evaluated. The experiment was conducted during the 2015/2016 season at Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, Brazil, in a Clayey Oxisol (Dystrophic Red Latosol), with a triple lattice design (5 x 5). Traits such as plant height, fresh biomass yield (PMV), days of flowering, juice extraction (EXT), total soluble solids (SST), juice sucrose content (POL), purity (PUR), fiber, reducing sugars (AR), total reducing sugars (ART), total recoverable sugars (ATR), hydrous ethanol yield (EH, L of ethanol t⁻¹ of stem) and hydrous ethanol production (ETH, L ha⁻¹) were evaluated. Statistical evaluation of the significance of the trial was done through analysis of variance (ANOVA). For means of comparison, the Scott-Knott test was performed at 5% probability. ANOVA indicated significant differences (P <0.05) of genotypes for all agronomic and quality traits in the study except for EXT, PUR and AR. Regarding the EH characteristic, genotypes 201543B012, BRS 508, 201543B019, CMSXS646, 201543B007, 201543B020, 201543B010, BRS 511, 201543B014, 201543B006, 201543B011 and 201543B015, with yield above 59 L of ethanol t⁻¹ of the hstem were superior to that of the other genotypes. For the ETH characteristic, genotypes 201543B007, 201543B012, 201543B019, 201543B011, 201543B020, 201543B002, CMSXS646, 201543B006, 201543B008 and 201543B015 produced above 3,200 L of ethanol ha⁻¹. Thus, these genotypes are the most suitable for bioethanol production.

Index terms: ethanol yield, stem yield, sorghum quality traits.

Introdução

O rápido desenvolvimento socioeconômico global, aliado ao avanço demográfico, vem impulsionando a demanda por fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis (Ren et al., 2015), que, por razões diversas, incluindo a geopolítica do petróleo, podem ter seu fornecimento reduzido, causando insegurança energética (Edrisi; Abhilash, 2016; Mehmood et al., 2017). O interesse em fontes de energia renováveis ganhou força nas últimas décadas devido à crescente preocupação com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e à finitude das reservas de combustíveis fósseis, que pode colocar a segurança energética em risco (Vinutha et al., 2014). A biomassa, em particular, é uma importante fonte de energia renovável porque está prontamente disponível e pode reduzir a emissão de GEE (Prassad et al., 2007; Ratnavathi et al., 2011; Fernandes et al., 2014; Garofalo et al., 2016).

O sorgo sacarino [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] é uma gramínea anual (Poaceae), que devido à habilidade de armazenar açúcares no colmo (semelhante à cana-de-açúcar) e de produzir grãos (semelhante ao sorgo granífero), é reconhecido como cultura viável para a produção de alimentos e bioetanol (Rao et al., 2008; Qazi et al., 2012; Eggleston et al., 2013; Madhavilatha et al., 2017). Essa cultura, dentre outras, tem as seguintes vantagens como fonte alternativa para a produção de bioetanol: ciclo curto (em torno de 90 a 120 dias); é totalmente mecanizável (plantio e colheita), tem colmos suculentos com elevado conteúdo de açúcares diretamente fermentescíveis (sacarose, glucose e frutose, principalmente) (Souza et al., 2013; Fernandes et al., 2014; Nghiem et al., 2016); produção de 60 t de colmos ha⁻¹ ou mais, dependendo da cultivar; utilização do bagaço para cogeração (May et al., 2012b) e adaptabilidade a uma ampla gama de condições edafoclimáticas (Palumbo et al., 2014; Batista et al., 2017).

Embora já existam tecnologias para cultivo de sorgo sacarino no Brasil (Emygdio et al., 2011; May et al., 2012a; May et al., 2012b), a disponibilidade de cultivares adaptadas às diferentes condições agroclimáticas do Cerrado é limitada. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptação geográfica e climática e o potencial de produção de colmo, açúcares e etanol de 25 genótipos de sorgo sacarino nas condições edafoclimáticas do Distrito Federal.

Material e Métodos

Um experimento foi instalado na área experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina-Distrito Federal, em solo do tipo Latossolo Vermelho distrófico argiloso, nas coordenadas geográficas S15°36.194' e W047°43.048', altitude de 1.017 m. O experimento foi plantado em 18/11/2015, constituindo-se de 25 genótipos do programa de melhoramento genético da Embrapa Milho e Sorgo (EMS), com delineamento experimental em látice triplo (três repetições) (5 x 5). As parcelas foram constituídas de 2 linhas de 5 m de comprimento, espaçadas de 0,70 m, tendo sido realizado desbaste manual 22 dias após o plantio, deixando-se 25 plantas por 3 m, ou seja, a população foi de 119.047 plantas ha⁻¹. Foram coletadas amostras compostas de solo na profundidade de 0 cm–20 cm, efetuando-se a análise química, anterior à instalação do experimento, que evidenciou valores de pH (H₂O) = 5,510; P (Mehlich1-Espectrofotometria, mg/l) = 11,854; K (Fotômetro de Chama, mg/l) = 100,00; Ca (Absorção Atômica, me/100 cc) = 2,865; Mg (Absorção Atômica, me/100 cc) = 1,202; Al-trocável (Titulometria, me/100 cc) = 0,100; M.O. (Walkley & Black, %) = 3,213; H + Al – Acidez Titulável (Titulometria, me/100 cc) = 6,455; CTC efetiva [(Ca + Mg) + (K/391) + (Al)] = 4,423; CTC total [(Ca + Mg) + (K/391) + (H + Al)] = 10,778; SB [(Ca + Mg) + (K/391)] = 4,323 e V% (100 x SB/CTC total) = 40,107.

De acordo com a análise de solo, no plantio, foi usada a adubação a lanço de 500 kg ha⁻¹ da fórmula 00-20-20+Zn + 150 kg ha⁻¹ de KCl + 70 kg ha⁻¹ de ureia, totalizando 720 kg ha⁻¹ da mistura, que foi incorporada com grade niveladora. A adubação de cobertura foi efetuada com 135 kg ha⁻¹ de N, na forma de ureia, 28 dias após o plantio. As avaliações foram conduzidas nas duas linhas de plantio da parcela, desconsiderando-se 1 m nas extremidades, assim a área útil foi de 4,2 m². Os seguintes caracteres agrônômicos foram avaliados: florescimento (FLOR, número de dias decorridos a partir da data de plantio até à emissão de flores em 50% das plantas da parcela experimental); altura das plantas (AP, medida em m, quando 100% estavam em florescimento); peso de massa verde: colmos e folhas (PMV, t ha⁻¹), determinado pela extrapolação da pesagem de 50 plantas sem panículas por parcela, colhidas quando os grãos estavam no estágio duro/farináceo e rendimento de colmo (RCOLMO, t ha⁻¹).

Conforme dados monitorados na Estação Climatológica Principal da Embrapa Cerrados (Planaltina, DF), no período de condução do experimento, novembro de 2015 a abril de 2016, a precipitação total foi de 142,5 mm (novembro/2015); 90,1 mm (dezembro/2015); 345,5 mm (janeiro/2016); 47,8 mm (fevereiro/2016); 55 mm (março/2016) e 20,6 mm (abril/2016). A temperatura média foi de 23,6 °C (novembro/2015); 27,4 °C (dezembro/2015); 27,2 °C (janeiro/2016); 23,3 °C (fevereiro/2016); 22,2 °C (março/2016) e 22,0 °C (abril/2016).

Para avaliação dos caracteres industriais dos genótipos, foram escolhidos ao acaso seis colmos, que foram triturados em desintegrador IRBI DM-540, de cuja massa foram retiradas 500 g para extração do caldo em uma prensa hidráulica Hidrasem, modelo PHS 250, com pressão de 250 kgf por cm² sobre a amostra, durante 1 minuto. O teor de sólidos solúveis totais (SST, percentagem de sólidos solúveis totais no caldo, expressa em °Brix) foi determinado em um refratômetro digital ATAGO RX, e a leitura sacarimétrica foi realizada em sacarímetro digital Schmidt + Haensch Polatronich NHZ, usando-se caldo clarificado. As variáveis POL (percentagem de sacarose aparente), pureza (PUR, percentagem de sacarose nos sólidos solúveis totais), AR (percentagem de açúcares redutores), fibra (%), ART (percentagem de açúcares redutores totais) e ATR (açúcares totais recuperáveis, kg t⁻¹ colmo) foram determinadas com a utilização de uma planilha de modelos para cálculos de qualidade de cana-de-açúcar obedecendo à metodologia proposta pelo Consecana-SP (2006). A extração de caldo (EXT) expressa a percentagem de caldo extraído de 500 g de colmos desintegrados. O rendimento de etanol hidratado (EH, L de etanol t⁻¹ de colmo sem folhas) foi estimado assumindo-se que 1 L de etanol hidratado corresponde a 1,6913 kg de ATR (Consecana, 2006), e a produção de etanol hidratado (ETH, L ha⁻¹) corresponde ao produto de EH multiplicado pelo rendimento de colmo (RCOLMO, t ha⁻¹).

As variáveis em análise foram avaliadas no delineamento experimental látice triplo (três repetições) 5 x 5, com 4 blocos dentro de cada repetição. Foram avaliados um total de 25 genótipos, incluindo um híbrido comercial desenvolvido pela Monsanto (CV 198), 4 variedades (BRS 508, BRS 511, CMSXS646, CMSXS 647) e 20 híbridos desenvolvidos pelo programa de melhoramento da Embrapa Milho e Sorgo (201543B001 a 201543B020).

As análises de variância seguiram o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + r_j + b_{k(j)} + e_{ijk}$$

em que:

Y_{ijk} : valor observado na parcela do tratamento i , no bloco k , dentro da repetição j .

μ : efeito fixo da média geral.

t_i : efeito aleatório do tratamento i .

r_j : efeito aleatório da repetição j .

$b_{k(j)}$: efeito aleatório do bloco k dentro da repetição j .

e_{ijk} : efeito aleatório do erro experimental.

A verificação estatística da significância dos tratamentos foi feita pela Análise de Variância (ANOVA). Foram verificados os pressupostos de normalidade dos resíduos e a homogeneidade da variância. Para a comparação das médias, foi utilizado o teste de Scott-Knott (Scott; Knott, 1974), no nível de probabilidade de 5%. As análises foram realizadas pelo software estatístico SAS versão 9.1.2 e com auxílio do programa R, versão 3.4.3.

Procedeu-se irrigações suplementares durante o ciclo da cultura. O controle de plantas daninhas foi efetuado com aplicação de Atrazina 50 SC (500 g/L de atrazina) com a dose de 1,5 L ha⁻¹ de ingrediente ativo e complementado com capinas manuais. O controle de lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi realizado com Lorsban® 480 BR (480 g/L de clorpirifós) com a dose de 1,5 L ha⁻¹ do produto comercial.

Resultados e Discussão

De acordo com a análise de variância e o teste de Scott-Knott ($P < 0,05$), houve diferenças significativas entre os genótipos avaliados, tanto para as características agrônômicas: FLOR, AP, PMV e RCOLMO (Tabela 1) quanto para as características tecnológicas: SST, POL, FIB, ART, ATR. EH e ETH (Tabela 2), o que demonstra a diversidade genética entre os genótipos quanto a essas características.

Tabela 1. Valores médios de 25 genótipos de sorgo sacarino para os caracteres agrônômicos florescimento (FLOR, dias), altura de plantas (AP, m), produção de massa verde (PMV, t ha⁻¹) e rendimento de colmo (RCOLMO, t ha⁻¹) avaliados em Planaltina, DF, 2016.

Genótipo	FLOR (d)	AP (m)	PMV (t ha ⁻¹)	RCOLMO (t ha ⁻¹)
201543B001	75 d	3,49 c	58,49 b	51,34 b
201543B002	75 d	3,54 b	69,92 a	61,19 a
201543B003	75 d	3,47 c	55,47 b	47,87 b
201543B004	75 d	3,48 c	62,93 a	54,92 a
201543B005	75 d	3,48 c	64,83 a	55,79 a
201543B006	75 d	3,57 b	63,01 a	55,60 a
201543B007	75 d	3,53 b	75,08 a	64,92 a
201543B008	78 b	3,68 a	66,26 a	58,41 a
201543B009	75 d	3,62 b	50,63 b	44,20 b
201543B010	75 d	3,55 b	56,26 b	48,56 b
201543B011	75 d	3,64 b	69,52 a	60,63 a
201543B012	77 c	3,68 a	66,90 a	59,36 a
201543B013	73 e	3,26 d	57,38 b	49,84 b
201543B014	75 d	3,37 c	58,57 b	49,98 b
201543B015	72 f	3,26 d	64,36 a	55,62 a
201543B016	72 f	3,48 c	57,62 b	50,79 b
201543B017	75 d	3,30 d	56,11 b	50,07 b
201543B018	73 e	3,24 d	62,14 a	54,28 a
201543B019	75 d	3,40 c	64,84 a	56,51 a
201543B020	77 c	3,49 c	64,60 a	57,22 a
BRS508	81 a	3,76 a	50,55 b	43,96 b
BRS511	81 a	3,45 c	59,52 b	53,01 b
CMSXS646	78 b	3,59 b	59,68 b	52,38 b
CMSXS647	78 b	3,48 c	60,63 b	54,12 a
CV198	77 c	3,81 a	55,08 b	49,27 b
CV (%)	3,0%	4,2%	9,7%	9,6%

As médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Snott (P<0,05).

Tabela 2. Valores médios de 25 genótipos de sorgo sacarino para os caracteres tecnológicos teor de sólidos solúveis (SST, % caldo), sacarose (POL, % caldo), fibra (FIB, %), açúcares redutores totais (ART, % caldo), açúcares totais recuperáveis (ATR, kg de açúcar t⁻¹ de colmo), etanol hidratado (EH, L t⁻¹ de colmo) e produção de etanol (ETH, L ha⁻¹) avaliados em Planaltina, DF, 2016.

Genótipo	SST	POL caldo	FIB	ART caldo	ATR	EH	ETH
201543B001	15,32 b	10,65 b	11,09 c	12,47 b	96,92 b	57,30 b	2.948,79 b
201543B002	15,67 b	10,31 b	10,87 c	12,24 b	95,62 b	56,54 b	3.464,34 a
201543B003	15,03 b	10,28 b	10,79 c	12,11 b	94,73 b	56,01 b	2.686,63 b
201543B004	16,21 a	10,58 b	11,05 c	12,54 b	97,67 b	57,75 b	3.165,49 b
201543B005	15,63 b	10,34 b	10,47 c	12,25 b	96,45 b	57,02 b	3.176,33 b
201543B006	16,35 a	11,14 b	11,24 c	13,04 b	101,17 a	59,82 a	3.341,81 a
201543B007	16,52 a	12,01 a	11,32 c	13,83 a	107,20 a	63,38 a	4.207,45 a
201543B008	15,22 b	10,56 b	11,41 c	12,37 b	95,70 b	56,59 b	3.307,98 a
201543B009	14,07 b	10,40 b	11,63 c	12,05 b	92,88 b	54,91 b	2.424,63 b
201543B010	16,02 a	11,63 a	11,57 c	13,40 a	103,40 a	61,14 a	2.974,39 b
201543B011	16,14 a	11,32 b	11,99 b	13,16 b	100,84 a	59,62 a	3.642,87 a
201543B012	18,01 a	13,33 a	13,52 a	15,14 a	112,94 a	66,78 a	3.959,42 a
201543B013	13,65 b	7,83 c	10,41 c	9,10 c	78,06 c	46,15 c	2.306,65 b
201543B014	16,00 a	11,17 b	10,96 c	13,01 b	101,47 a	60,00 a	3.007,13 b
201543B015	16,23 a	10,97 b	11,21 c	12,87 b	100,01 a	59,13 a	3.286,70 a
201543B016	15,38 b	10,73 b	11,78 c	12,55 b	96,48 b	57,05 b	2.980,52 b
201543B017	15,07 b	10,13 b	11,56 c	12,00 b	92,73 b	54,83 b	2.730,84 b
201543B018	14,56 b	10,21 b	10,69 c	11,97 b	93,84 b	55,48 b	3.023,23 b
201543B019	16,89 a	12,68 a	11,65 c	14,42 a	111,15 a	65,72 a	3.725,64 a
201543B020	16,27 a	12,09 a	11,56 c	13,81 a	106,63 a	63,05 a	3.598,98 a
BRS508	17,61 a	13,19 a	13,27 a	14,95 a	112,11 a	66,29 a	2.912,26 b
BRS511	16,04 a	11,22 b	11,16 c	13,06 b	101,52 a	60,03 a	3.178,72 b
CMSXS646	17,44 a	12,27 a	12,03 b	14,14 a	108,33 a	64,05 a	3.353,16 a
CMSXS647	14,86 b	10,16 b	10,25 c	11,99 b	94,66 b	55,97 b	3.037,70 b
CV198	15,36 b	10,40 b	12,24 b	12,28 b	93,66 b	53,38 b	2.746,65 b
CV (%)	6,6%	10,5%	6,8%	8,7%	7,7%	7,7%	14,1%

As médias seguidas pelas mesmas letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Snott ($P < 0,05$).

Caracteres agronômicos

Com base no teste de médias constatou-se que os genótipos 201543B013 e 201543B018 foram os mais precoces, com intervalo de 73 dias entre o plantio e o florescimento (FLOR), e uma diferença de 8 dias para o genótipo BRS 508 e BRS 511, os mais tardios, com florescimento aos 81 dias após o plantio. Para esse caráter, os genótipos ficaram separados em cinco grupos pelo teste de Scott-Knott (Tabela 1). A altura das plantas (AP) variou de 3,24 m a 3,81 m, sendo CV 198, BRS 508, 201543B008 e 201543B012 as mais altas (Tabela 1). As médias de PMV variaram de 75,08 t ha⁻¹ a 50,55 t ha⁻¹, respectivamente para 201543B007 e BRS 508. Os rendimentos de colmo observados para 201543B007, 201543B002, 201543B011, respectivamente de 64,92 t ha⁻¹, 61,19 t ha⁻¹ e 60,63 t ha⁻¹ (Tabela 1) estão em consonância com as metas estabelecidas pelo programa de melhoramento de sorgo (PMS) da Embrapa Milho e Sorgo, que pressupõem produção acima de 60 t ha⁻¹ de colmo (May et al., 2012a). A elevada produtividade de biomassa dos genótipos de sorgo sacarino é um fator preponderante para a produção de etanol, tendo em vista que os açúcares diretamente fermentescíveis são inteiramente extraídos da biomassa (Murray et al., 2009). Vale ressaltar que não foram consideradas perdas durante a colheita.

Caracteres tecnológicos

As médias para extração de caldo variaram de 64,87% a 76,33%, respectivamente para BRS 508 e 201543B005, sem diferença significativa entre os genótipos. Quanto ao SST (°Brix), os teores médios variaram entre 18,01 °Brix para 201543B012 e 13,65 °Brix para 201543B013, ficando os genótipos agrupados em dois grupos distintos (Tabela 2). Com exceção de 201543B013 e 201543B009, os demais genótipos em análise ultrapassaram a meta mínima estabelecida pelo programa de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo, que é de 14,5 °Brix (May et al., 2012a) (Tabela 2).

Para a variável POL do caldo, as médias variaram de 13,33% a 7,83%, respectivamente para 201543B012 e 201543B013, ficando os genótipos agrupados em dois grupos, à semelhança dos teores de SST (Tabela 2). Ocorreram variações de valores para PUR (57,53% a 75,03%), AR (1,06% a 1,67%) e EXT (64,87% a 76,33%), mas não houve diferença significativa

entre os genótipos. Quanto à FIB, os teores variaram de 13,52% a 10,25%, respectivamente para 201543B012 e CMSXS647, ficando os genótipos separados em três grupos distintos (Tabela 2).

Para o caráter ART, as médias dos genótipos variaram entre 9,1% e 15,14%, observando-se uma separação em três grupos. Os genótipos 201543B012, BRS 508, 201543B019, CMSXS646, 201543B007, 201543B020, 201543B010, 201543B011, BRS 511, 201543B006, 201543B014, 201543B015, 201543B016 e 201543B004 ultrapassaram o valor mínimo desejável de ART de 12,5% (Tabela 2) (Rocha, 2016; May et al., 2012b).

Com relação ao caráter ATR, os teores variaram de 112,94 kg t⁻¹ (201543B012 a 78,06 kg t⁻¹ (201543B013), observando-se uma separação em três grupos, sendo que 201543B012, BRS 508, 201543B019, CMSXS646, 201543B007, 201543B020, 201543B010, BRS 511, 201543B014, 201543B006, 201543B011 e 201543B015 apresentaram as médias mais elevadas, acima de 100 kg t⁻¹, e não diferiram significativamente entre si (Tabela 2). Assim, os teores de ATR desses genótipos atenderam à meta de 100 kg–120 kg t⁻¹ proposta para o programa de melhoramento de sorgo sacarino da Embrapa Milho e Sorgo (Schaffert et al., 2011).

Quanto ao EH, as médias variaram de 66,78 L de etanol t⁻¹ de colmo a 46,15 L de etanol t⁻¹, respectivamente para 201543B012 e 201543B013, ficando os genótipos separados em três grupos (Tabela 2). Assim, 201543B012, BRS 508, 201543B019, CMSXS646, 201543B007, 201543B020, 201543B010, BRS 511, 201543B014, 201543B006, 201543B011 e 201543B015, com rendimento acima de 59 de etanol t⁻¹, não diferiram significativamente entre si e se mostraram superiores aos demais. No entanto, os 12 que constituíram o segundo grupo apresentaram médias acima de 50 L de etanol t⁻¹ de colmo (Tabela 2). Para a característica ETH, as médias variaram de 4.207,45 L ha⁻¹ a 2.306,65 L ha⁻¹, correspondentes respectivamente a 201543B007 e 201543B013, ficando os genótipos separados em dois grupos, sendo o primeiro constituído por 201543B007, 201543B012, 201543B019, 201543B011, 201543B020, 201543B002, CMSXS646, 201543B006, 201543B008 e 201543B015, com variação de 3.286,70 L ha⁻¹ (201543B015) a 4.207,45 L ha⁻¹ (201543B007), mas não diferiram significativamente entre si (Tabela 2). Mesmo assim, 201543B007 e 201543B012

(3.959,42 L ha⁻¹ de etanol), em valores absolutos, destacaram-se quanto à característica produção de etanol por hectare. Ficando evidenciado, à semelhança do que observaram Bernardino et al. (2012), a relevância das características PMV e SST (°Brix) quando se trata de seleção de genótipos visando a produção de etanol de primeira geração (Tabelas 1 e 2). Dos componentes do segundo grupo, BRS 511, 201543B005, 201543B004, CMSXS647, 201543B018 e 201543B014 também ultrapassaram 3 mil litros por hectare (Tabela 2). Portanto, dos 25 genótipos avaliados, 16 ultrapassaram 3 mil litros por hectare. Esse nível de produção de etanol, segundo May et al. (2012b), preenche um dos requisitos mínimos para a utilização de uma cultivar de sorgo sacarino para produção de etanol de primeira geração.

Em relação ao acamamento, observou-se um índice abaixo de 5% do total de plantas acamadas nas parcelas dos genótipos 201543B001 (1,33%), 201543B008 (0,67%), 201543B009 (3,33%), 201543B013 (0,67%), 201543B017 (1,33%), 201543B020 (0,67%), CMSXS646 (1,33%) e BRS 511 (0,67%). Em CV 198, a média desse parâmetro foi de 8%. Nos demais 16 genótipos não ocorreu acamamento.

Conclusão

Considerando a associação dos elevados rendimentos de biomassa com as características tecnológicas extração de caldo, sólidos solúveis totais, porcentagem aparente de sacarose no caldo, pureza, açúcares totais recuperáveis, EH e ETH, os seguintes genótipos, cujos rendimentos de etanol superaram 3,2 mil litros por hectare: 201543B007 (4.207,45), 201543B012 (3.959,42), 201543B019 (3.725,64), 201543B011 (3.642,87), 201543B020 (3.598,98), 201543B002 (3.464,34), CMSXS646 (3.353,16), 201543B006 (3.341,81), 201543B008 (3.307,98) e 201543B015 (3.286,70) destacaram-se como fontes promissoras de matéria-prima para produção de etanol de primeira geração nas condições edafoclimáticas do Distrito Federal.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Usina Jalles Machado S/A, Goianésia, Go, pelo apoio na execução das análises tecnológicas dos genótipos de sorgo sa-

carino em seu laboratório industrial; ao pesquisador da Embrapa Cerrados, Marcos Aurélio Carolino de Sá, pela revisão crítica do manuscrito; aos assistentes de pesquisa da Embrapa Cerrados, Antonio Reinaldo da Cunha e Robson Santos Alves, pela contribuição na condução dos experimentos.

Referências

- BATISTA, V. A. P.; BARROS, A. F.; RIBEIRO, M. P.; BENGALA, P. S. P.; PIMENTEL, L. D. Produtividade de sorgo biomassa, sacarino e forrageiro em duas épocas de corte. In: WORKSHOP AGROENERGIA MATÉRIAS-PRIMAS, 11., 2017, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: IAC, 2017.
- BERNARDINO, K. C.; SOUZA, V. F.; CARVALHO JÚNIOR, G. A.; MOURÃO, C. S.; SILVA, K. J.; SANTOS, C. V.; COSTA, R. K.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E. Caracterização de Cultivares de Sorgo Sacarino Visando a Produção de Etanol de Primeira e Segunda Geração. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29., 2012, Águas de Lindóia. **Diversidade e inovação na era dos transgênicos**: resumos expandidos. Campinas: Instituto Agrônomo; Sete Lagoas: ABMS, 2012. 1 CD-ROM.
- CONSECANA. **Manual de instruções**. Piracicaba, 2006. 116 p.
- EDRISI, S. A.; ABHILASH, P. C. Exploring marginal and degraded lands for biomass and bioenergy production: an Indian scenario. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 1537-1551, 2016.
- EGGLESTON, G.; COLE, M.; ANDRZEJEWSKI. New commercially viable Processing Technologies for the Production of Sugar Feedstocks from Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) for Manufacture of Biofuels and Bioproducts. **Sugar Tech**, v. 15, n. 3, p. 232-249, 2013.
- EMYGDIO, B. M.; ROSA, A. P. S. A. da; OLIVEIRA, A. C. B. de; PARRELLA, R. A. da C.; SCHAFFERT, R. E.; MAY, A. **Desempenho de cultivares de sorgo sacarino para a produção de etanol sob diferentes densidades de plantas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 20 p. (Embrapa Clima Temperado. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 156).
- FERNANDES, G.; BRAGA, T. G.; FISCHER, J.; PARRELLA, R. A. C.; RESENDE, M. M.; CARDOSO, V. L. Evaluation of potential ethanol production and nutrients for flour varieties of sweet sorghum during maturation. **Renewable Energy**, v. 71, p. 518-524, 2014.
- GAROFALO, P.; D'ANDREA, L.; VONELLA, A. V.; RINALDI, M.; PALUMBO, A. D. Sweet sorghum in a bioethanol supply chain: effects of different soil and nitrogen management on energy performances and greenhouse gas emissions. **Italian Journal of Agrometeorology**, v. 2, p. 15-24. 2016.
- MADHAVILATHA, L.; RAO, M. S.; MADHURI, K. V. Evaluation of improved sweet sorghum genotypes for yield and juice quality traits. **International Journal of Clinical and Biological Sciences**, v. 2, n. 1, p. 50-54, 2017.
- MAY, A.; CAMPANHA, M. M.; SILVA, A. F.; COELHO, M. A. O.; PARRELLA, R. A. C.; SCHAFFERT, R. E.; PEREIRA FILHO, I. A. Variedades de sorgo sacarino em diferentes espaçamentos e população de plantas. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 278-290, 2012a.

- MAY, A.; DURAES, F. O. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. da C. (Ed.). **Sistema Embrapa de produção agroindustrial de sorgo sacarino para bioetanol: Sistema BRS1G-Tecnologia Qualidade Embrapa**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 118 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 139).
- MEHMOOD, M. A.; IBRAHIM, M.; RASHID, U.; NAWAZ, M.; ALI, S.; HUSSAIN, A.; GULI, M. Biomass production for bioenergy using marginal lands. **Sustainable Production and Consumption** v. 9, p. 3-21, 2017.
- MURRAY, S. C.; ROONEY, W. L.; HAMBLIN, M. T.; MITCHELL, S. E.; KRESOVICH, S. Sweet sorghum genetic diversity and association mapping for Brix and height. **The Plant Genome**, v. 2, n. 1, p. 48-62, 2009.
- NGHIEM, N. P.; MONTANTI, J.; JOHNSTON, D. B. Sorghum as a renewable feedstock for production of fuels and industrial chemicals **AIMS Bioengineering**, v. 3, p. 75-91, 2016.
- PALUMBO, A. D.; VONELLA, A. V.; GAROFALO, P.; D'ANDREA, L.; RINALDI, M. response of a two-year sugar beet-sweet sorghum rotation to an agronomic management approach diversified by soil tillage and nitrogen fertilization. **Italian Journal of Agronomy**, v. 9, p. 109-114, 2014.
- PRASAD, S.; SINGH, A.; JAIN, N.; JOSHI, H. C. Ethanol Production from Sweet sorghum Syrup for Utilization as Automotive Fuel in India. **Energy & Fuels**, v. 21, p. 2415-2420, 2007.
- QAZI, H. A.; PARANJBE, S.; BHARGAVA, S. Stem sugar accumulation in sweet sorghum- Activity and expression of sucrose metabolizing enzymes and sucrose transporters. **Journal of Plant Physiology**, v. 169, p. 605-613, 2012.
- RAO, S.S.; SEETHARAMA, N.; RATNAVATHI, C.V.; DAYAKAR, R.B.; UMAKANTH, A.V. Utilizing sweet sorghum as an alternative energy crop for bioethanol production: agrotechnology and pre-commercialization in liaison agroindustries. **Adv. BioTechnology**, v. 5, p. 46-47, 2008.
- RATNAVATHI, C. V.; CHAKRAVARTHY, S. K.; KOMALA, V. V.; CHAVAN, U. D.; PATIL, J. V. Sweet sorghum as feedstock for biofuel production: a review. **Sugar Tech**, v. 13, n. 4, p. 399-407, 2011.
- REN, L.; CAAFFERTY, K.; RONI, M.; JACOBSON, J.; XIE, G.; OVARD, L.; WRIGHT, C. Analyzing and comparing biomass sweet sorghum case studies. **Energies**, v. 8, p. 5577-5597, 2015.
- ROCHA, M. J. **Capacidade combinatória de linhagens e seleção de híbridos de sorgo sacarino**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado)- UFLA, Lavras, 2016.
- SCHAFFERT, R. E.; PARRELLA, R. A. C.; MAY, A.; DURÃES, F. O. M. Metas de rendimento e qualidade de sorgo sacarino. **Agroenergia em Revista**, v. 3, p. 47, 2011.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.
- SOUZA, V. P.; PARRELLA, R. A. C.; TARDIN, F. D.; COSTA, M. R.; CARVALHO Jr., G. A.; SCHAFFERT, R. E. Adaptability and stability of sweet sorghum cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, p. 144-151, 2013.
- VINUTHA, K. S.; RAYAPROLU, L.; YADAGIRI, K.; UMAKANTH, A. V.; PATIL, J. V.; RAO, P. S. Sweet Sorghum Research and Development in India: Status and Prospects. **Sugar Tech**, v. 162, n. 2, p. 133-143, 2014.



Cerrados

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 016751